ارائه‌ی روش ابتکاری توسعه‌ی مدل فرصت‌های تداخلی برای برآورد ماتریس سفرهای خرید خانه‌مبنا*

محمود احمدی نژاد[۱]   شهریار افندی‌زاده زرگری[۲]   سید مهدی یدی همدانی[۳]

چکیده *مدل فرصت‌های تداخلی که توان تحلیلی خوبی دارد، یکی از مدل‌هایی است که ساختار احتمالی داشته و برای مدل‌سازی فرایند توزیع سفر در برنامه‌ریز حمل و نقل مورد استفاده قرار می‌گیرد. این مدل ذاتاً دارای دو محدودیت اساسی می‌باشد. چرا که در این مدل فرض می‌شود سفرکنندگان از تمامی فرصت‌های موجود در نواحی، از زمان سفر و تمام مقاصد آگاه هستند و آن را هنگام تصمیم‌گیری مورد بررسی قرار می‌دهند. در این مقاله، روشی نوین برای بسط مدل فرصت‌های تداخلی عادی، کاهش محدودیت‌های آن و افزایش انطباق‌پذیری این مدل با الگوی انتخاب مقصد سفرهای خرید خانه مبنا ارائه شده است. متدولوژی تحقیق به این صورت است که برای پارامترهای اصلی مدل فرصت تداخلی، یعنی عامل فرصت و عامل رتبه‌بندی مقاصد، ضرایب و وزن‌هایی در نظر گرفته شده است و مدل پایه پس از محاسبه این ضرایب کالیبره شده است. وزن‌دهی به عوامل فوق در قالب ضرایب اصلاحی تحت عنوان میزان شناخت از فرصت‌های بالقوه و میزان شناخت مبدأ – مقصدی با توجه به فاصله‌ی بین مبادی و مقاصد در نظر گرفته شده است. در این مقاله ضمن تبیین ساختار مدل فرصت‌های تداخلی توسعه‌یافته، به کالیبراسیون مدل در قالب یک مطالعه‌ی موردی در شهر قزوین پرداخته شده است. تحلیل کارایی مدل فرصت تداخلی عادی و مدل فرصت تداخلی توسعه یافته در خصوص سفرهای خرید در شهر قزوین بررسی و مقایسه شده است و ضمن بیان نتایج کالیبراسیون و اعتبارسنجی هر دو مدل، بهبود نسبی حاصل از این نوع مدل‌سازی به نسبت مدل فرصت‌های تداخلی پایه ارائه شده است.*

واژه‌های کلیدی سفر خرید خانه مبنا، توزیع سفر، مدل فرصت‌های تداخلی توسعه‌یافته.

An Innovative Methodology to Extend Intervening Opportunity Model for Predicting Home-based Shopping Trips

M. Ahmadinejad   Sh. Afandizadeh   S.M. Yadi Hamedani

Abstract *The conventional Intervening Opportunity Model which is potentially a powerful analytical and probabilistic model, has been used in transportation planning to model trip distribution pattern. This model is basically suffering from two main limitations. These limitations are the assumptions that trip makers are fully aware of all available opportunities in the area and their trip lengths to all possible destinations and that they evaluate all the destinations during their decision making process. This paper has attempted to extend conventional intervening opportunity, omit the limitations inherent in it and maximize its compatibility with the common destination choice pattern of home-based shopping trips. The overall idea is that for the main parameters of the intervening opportunity model (i.e. the opportunity and destination ranking variables) some coefficients and weights may be considered in order to calibrate the model once these weights and coefficients are calculated and included. These weights have been considered as modification factors according to the knowledge of the trip makers about the opportunities at destinations and also the knowledge on the accessibility of the shopping destinations. In this paper, the proposed structure of Extended Intervening Opportunity Model (EIOM) has been calibrated for a case study in Qazvin city. So, the effectiveness of conventional intervening opportunity model and extended intervening opportunity model has been measured and compared. In addition to results of calibrations and validations for both models, relative improvement of proposed model in comparing to conventional intervening opportunity model has been shown.*

Key Words Home-based shopping trips, Trip distribution, Extended intervening opportunity model.

* تاریخ تصویب مقاله ۸۹/۱۱/۱۵ و تاریخ دریافت نسخه نهایی اصلاح شده ۹۰/۱۰/۵

(۱) استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران

(۲) دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران

(۳) نویسنده‌ی مسئول: دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران.

مقدمه

الگوی فعالیت روزانه یک فرد شامل یک سری امور خارج از حیطه‌ی منزل می‌باشد. این فعالیت‌ها نیازی را به جابه جایی و نقل مکان برای دست‌یابی فیزیکی به مقاصد مشخص ایجاد می‌نمایند. برخی از این فعالیت‌ها ملزم به مکان و زمان یا محدود به آنها هستند؛ مانند رفتن به محل کار و مدرسه و یا رفتن به قرار از پیش‌تعیین شده. در برخی دیگر کم و بیش در انتخاب آزاد است؛ مانند خرید، رفتن به سینما و دیدار دوستان. در یک تصمیم گیری منطقی، هر فرد تلاش می‌کند که منافع کلی و جزئی خود را در ارتباط با پی‌آمدهای مثبت و منفی هر تصمیم بیشینه نماید. فرد تصمیم‌گیرنده جایگزین‌های مختلف را لحظه به لحظه به صورت دل‌خواه ارزیابی می‌کند و نتایج و پیامدها را در یک دورنمای کوتاه تشخیص می‌دهد. تصمیمات مربوط به یک سفر با مجموعه‌ای از قیود و محدودیت‌های فردی و اجتماعی مرتبط هستند که این محدودیت‌های بر انتخاب مقصد، زمان عزیمت، مدت سفر و مسیر سفر تأثیر می‌گذارند [2,5,10].

مدل فرصت‌های تداخلی اگر چه در مقایسه با مدل جاذبه‌ای دارای مبانی نظری قوی‌تری می‌باشد، لیکن این مدل نیز محدودیت‌هایی در خصوص رفتار سفرکنندگان دارد. به عنوان مثال، در این مدل فرض می‌شود که سفرکنندگان، با داشتن اطلاعات کامل از کالبد فضایی شهر، از زمان واقعی سفر یا هر نوع عامل مقاومتی دیگر تا تمام مقاصد آگاه هستند و همچنین، تمام مقاصد را در هنگام تصمیم‌گیری مورد بررسی قرار می‌دهند. همچنین فرض می‌شود سفرکنندگان از تمامی فرصت‌های موجود در نواحی آگاهی دارند.

سفرهای خرید خانه‌مبنا جزء سفرهای غیرضروری طبقه‌بندی می‌شوند. سفرهای خرید ذاتاً نظم و قاعده‌ی مستمری ندارند؛ چرا که ممکن است یک فرد حتی مقصد سفر خرید معین و همیشگی خود را از یک روز به روز دیگر تغییر دهد. این نوع سفرها، کم و بیش آزادی انتخاب را به فرد می‌دهند و الزام یا محدودیت قابل توجهی (مانند سفرهای کاری و تحصیلی) در مکان و زمان ندارند [9]. همچنین سفرهای خرید خانه‌مبنا معمولاً حساسیت زیادی نسبت به طول (زمان) سفر دارند.

در این مقاله، پس از شناخت ویژگی‌های خاص سفرهای خرید و ملاحظات مدل‌سازی آن‌ها، به تدوین متدولوژی مدل‌سازی توزیع سفرهای خرید خانه‌مبنا بر پایه‌ی بهبود در فرایند مدل فرصت‌های تداخلی پرداخته شده است. این متدولوژی نوین برای رفع محدودیت‌های مدل فرصت‌های تداخلی عادی و بهبود نتایج و انطباق‌پذیری این مدل با الگوی انتخاب مقصد سفرهای خرید خانه‌مبنا ارائه شده است. در این راستا تغییراتی در ساختار مدل فرصت تداخلی عادی داده شده است تا قابلیت درنظرگیری عوامل مؤثر بر فعال‌سازی فرصت‌های مقاصد در ساختار مدل لحاظ شود. فعال‌سازی فرصت‌ها با استفاده از ضریبی اصلاحی در بازه [۰ و ۱] که در فرصت‌های پایه هر ناحیه ضرب می‌شود وارد مدل شده است.

تاریخچه و فرمولاسیون مدل فرصت‌های تداخلی

مبانی روش مدل‌سازی فرصت‌های تداخلی در سال ۱۹۴۰ توسط استوفر (Stouffer) که یک جامعه‌شناس بوده است برای مدل‌سازی مهاجرت بین ایالت‌ها و کشورها و نیز مکان‌یابی خدمات ارائه گردید. ایده‌ی بنیادین مدل وی بر این فرض استوار بوده است که «هیچ گونه رابطه‌ی الزام‌آوری بین فاصله و جابه جایی وجود ندارد ... لذا تعداد افرادی که از یک نقطه به مکان دیگری با فاصله‌ی مشخص طی طریق می‌کنند، با میزان فرصت‌ها در آن مکان نسبت مستقیم و با میزان فرصت‌های تداخلی (میانی) در سایر مکان‌ها نسبت عکس دارد». اشنایدر در سال ۱۹۵۹ مدل فرصت تداخلی را به صورت کاربرد امروزی آن طرح نمود [3].

فرم نوشتاری متداول برای مدل فرصت تداخلی معمولاً به صورت رابطه (۱) بیان می‌گردد [1,6]:

$$T_{ij} = O_i . P_{ij} = O_i \left[\frac{e^{-LV_{j-1}} - e^{-LV_j}}{1 - e^{-LV_J}}\right] \quad (۱)$$

که در آن :

T_{ij} : تعداد سفرهای پیش بینی شده از ناحیه i به ناحیه j برای سال طراحی.

O_i : تعداد کل سفرهای تولید شده فعلی از ناحیه i.

L : احتمال انتخاب یک مقصد بر اساس فرصت‌های موجود در آن.

V_J : مجموع فرصت‌ها در تمامی مقصدها (نسبت به مبدأ i).

V_j : مجموع فرصت‌ها (به صورت تجمعی) از ناحیه‌ی i تا مقصد رتبه j ام.

V_{j-1} : مجموع فرصت‌ها (به صورت تجمعی) از ناحیه‌ی i تا مقصد رتبه j-1 ام.

احتمال انتخاب حداقل یک مقصد تا ناحیه j (شامل خود ناحیه j) از مبدأ ناحیه i برابر خواهد بود با :

$$P_j = \sum_{k=1}^{j} P_{ik} = \sum_{k=1}^{j} \frac{e^{-LV_{k-1}} - e^{-LV_k}}{1 - e^{-LV_K}} = \frac{1 - e^{-LV_j}}{1 - e^{-LV_J}} \quad (۲)$$

مقدار پارامتر L در رابطه‌ی(۲) را می‌توان با استفاده از مدل رگرسیون غیرخطی با استفاده از نرم‌افزارهایی مانند مانند SPSS برآورد نمود. در این حالت عبارت مدل به صورت $\frac{e^{-LV(j-1)} - e^{-LV(j)}}{1 - e^{-LV(J)}}$ تعریف می‌شود و مقدار P_{ij} برآوردشده توسط نرم‌افزار ارائه می‌گردد. از حاصل‌ضرب این مقدار در میزان کل تولید هر ناحیه (برای سال پایه و طرح)، میزان توزیع سفر بین هر مبدأ و مقاصد مربوط برآورد می‌گردد. نهایتاً نیکویی برازش مدل از تحلیل ضریب هبستگی R^2 انجام می‌پذیرد.

برای به کارگیری مدل‌های فرصت تداخلی ابتدا می‌بایست شاخصی برای تعریف فرصت در مقاصد اقتباس نمود. این شاخص معمولاً به شکل یک متغیر اقتصادی- اجتماعی ساده متناسب با هدف سفر انتخاب می‌شود؛ مانند «میزان مساحت کاربری‌های تجاری یا شاغلان خرده‌فروشی‌ها برای سفرهای خرید» و یا «تعداد کل شاغلان در محل شغل برای سفرهای کاری». به عنوان یک راه حل جایگزین، شاخص فرصت را می‌توان متناسب با نتایج مدل جذب سفر تعریف نمود. از آن‌جا که به کارگیری مدل‌های چندمتغیره (مانند مدل‌های جذب سفر) برای تعریف فرصت، قابلیت معنادار و مشهودی را به دنبال نیاورده است، استفاده از شاخص‌های یک‌متغیره‌ی ساده برای تعریف فرصت معمولاً ترجیح داده شده است [1].

در مطالعات سال ۲۰۰٤ اداره‌ی حمل و نقل ایالت فلوریدا، میزان کارایی مدل‌های جاذبه‌ای و همچنین مدل فرصت تداخلی یا به اختصار IOM (Intervening Opportunity Model) مورد آزمون و مقایسه قرار گرفته است. در متدولوژی به کار گرفته‌شده، تابع فاصله F_{ij} در مدل ساختار جاذبه‌ای برابر با ($-LV_{j-1}$ exp) در نظر گرفته شده است و مدل جاذبه‌ای به مدل فرصت تداخلی تبدیل گردیده است [7,8]. مطالعه‌ی دیگری که در قالب پایان‌نامه کارشناسی ارشد آقای بین چن در سال ۲۰۰۵ در دانشگاه ایالتی لوییزیانا آمریکا به انجام رسیده است عبارت است از «مدل‌سازی انتخاب مقصد در هنگام تخلیه‌ی یک منطقه به دلیل وقوع طوفان دریایی با استفاده از مدل فرصت‌های تداخلی». در این پژوهش، به منظور مدل نمودن رفتار مردمی که قصد دارند منطقه‌ی طوفان‌زده را برای دور شدن از مسیر طوفان‌های سهمگین دریایی تخلیه کنند، یک مفهوم جدید برای جذابیت مقاصد معرفی شده‌است همچنین یک مدل فرصت تداخلی بسط‌یافته (Extended Intervening Opportunity Model) بر پایه‌ی اجرا در نرم‌افزار TransCAD ارائه شده است[4].

روش تحقیق

با توجه به محدودیت‌هایی که در مورد مدل فرصت تداخلی عادی وجود دارد، در نظرگیری متغیرها و عواملی برای قوام بخشیدن به ساختار این مدل و کاراتر کردن آن لازم و ضروری به نظر می‌رسد. به‌ویژه این‌که در سفرهای با هدف خرید، انتخاب مقصد انعطاف‌پذیری و تنوع بیشتری دارد. لذا، توجه به این محدودیت‌ها در مورد این نوع سفرها دارای اهمیت بیشتری می‌باشد. در این پژوهش سعی شده است بر پایه‌ی نوآوری، روش‌هایی مورد تحقیق و ارائه قرار گیرند که بتوانند برخی از این محدودیت‌ها را برطرف سازند.

به طور کلی اگر فرد سفرکننده شناخت و اطلاع کاملی از فرصت‌های موجود در ناحیه‌ی مقصد داشته باشد، همه‌ی فرصت‌ها برای او قابل انتخاب هستند و در غیر این صورت، تنها فرصت‌هایی را که می‌شناسد؛ یعنی تنها بخشی از فرصت‌های ممکن را، به عنوان فرصت‌های جذاب در نظر می‌گیرد. بنابراین، می‌توان عامل شناخت از وضعیت بازار را به صورت یک ضریب اصلاحی بین [۰ و ۱] در مقادیر «فرصت‌های بالقوه» (Enable Opportunities) هر ناحیه اعمال کرد تا «فرصت‌های فعال‌شده»(Activated Opportunities) به عنوان مفهومی ادراکی از فرصت‌های بالقوه‌ی موجود در هر ناحیه در ذهن سفرکنندگان حاصل شود. شاخص توصیف‌کننده شناخت از فرصت‌های یک مقصد، می‌تواند در قالب ویژگی‌های مقصد و یا ویژگی‌های مبدأ- مقصدی تعریف گردد. علاوه بر مفهوم متغیر بازار، می‌توان مفهوم فاصله‌ی ذهنی را نیز به عنوان عامل مقاومت یا رتبه‌بندی نواحی مقصد برای مبدأ معلوم، به جریان مدل‌سازی وارد کرد. ساختار پیشنهادی که برای بهبود مدل فرصت تداخلی ارائه شده است از این پس با عنوان مدل فرصت تداخلی توسعه‌یافته نام‌گذاری می‌شود. به طور کلی، متغیرهای اثرگذار بر تصمیم‌گیری شهروندان برای انتخاب محل خرید را می‌توان در دو گروه عمده در قالب عوامل وضعیت بازار و عوامل وضعیت دسترسی تقسیم‌بندی کرد.

عوامل بازار عواملی هستند که بر میزان جذابیت و فعال شدن فرصت‌های بالقوه‌ی خرید در یک ناحیه تأثیر می‌گذارند. از زمره‌ی این عوامل می‌توان به مواردی هم‌چون تعداد و تراکم واحدهای تجاری، کیفیت محصولات، قیمت محصولات، قدمت کاربری-ها، وجود بازار و مجتمع‌های تجاری و همرده بودن واحدهای تجاری اشاره نمود.

عوامل دسترسی نیز عواملی هستند که سهولت رسیدن به یک مقصد را بیان می‌کنند. عواملی نظیر فاصله یا زمان سفر بین هر زوج مبدأ- مقصد، تعداد فضای پارک در مقصد، وضعیت ایستگاه‌ها و خطوط اتوبوس‌رانی، وضعیت خطوط تاکسی‌رانی، هزینه‌ی سوخت سرانه‌ی مالکیت وسیله‌ی نقلیه‌ی شخصی، وضعیت محدودیت تردد در مرکز شهر و هزینه‌های ورود به محدوده‌ی مرکزی در زمره‌ی عوامل دسترسی قرار می‌گیرند.

ساختار مدل فرصت تداخلی توسعه‌یافته در روابط (۵-۳)، یک شکل اولیه و منطقی از در نظرگیری عوامل شناخت از وضعیت بازار در مدل فرصت‌های تداخلی توسعه‌یافته می‌باشد. برای سهولت در بیان ساختار مدل، تنها دو متغیر شناخت a و b با تعاریفی که در ادامه خواهد آمد، برای جریان مدل‌سازی در نظر گرفته شده است.

$$P_{ij} = \frac{e^{-LW_{j-1}} - e^{-LW_j}}{1-e^{-LW_J}} = \frac{e^{-LW_{j-1}}\left(1-e^{-LU_j}\right)}{1-e^{-LW_J}} \qquad (۳)$$

$$W_j = \sum_{k=1}^{j} a_k^{\alpha} . b_k^{\beta} . EO_k = \sum_{k=1}^{j} U_k \qquad (٤)$$

$$U_j = a_j^{\alpha}.b_j^{\beta}.EO_j \quad (۵)$$

که در آن:

W_j: تعداد فرصت‌های فعال شناخته‌شده در نواحی مقصد تا ناحیه j (شامل j).

W_J: تعداد کل فرصت‌های فعال شناخته‌شده در تمامی مقاصد از مبدأ i.

EO_k: تعداد فرصت‌های بالقوه در ناحیه‌ی مقصد k (معادل V_k در مدل فرصت تداخلی عادی).

U_k: تعداد فرصت فعال شناخته‌شده در ناحیه‌ی مقصد k.

a_k و b_k : ضرایب مربوط به عوامل شناخت فرصت‌های ممکن در ناحیه مقصد k.

α و β : توان نشان‌دهنده‌ی شدت اثرگذاری ضرایب a_k و b_k.

درنظرگیری فرم معادلات (۵-۳) برای عوامل شناخت و یا هر فرم دیگری که پارامترهای جدیدی به مدل وارد نماید، فرآیند کالیبراسیون مدل را با مشکل روبه‌رو می‌کند. این مشکل از آن‌جا ناشی می‌شود که عبارت W_j، مقدار تجمعی حاصل‌ضرب فرصت‌های واقعی در ضرایب شناخت مربوط به هر ناحیه هستند. بنابراین، مقدار W_j برای هر *j* به صورت یک سری تجمعی از خصوصیات نواحی ۱ تا j تعریف می‌شود که از میزان اثرگذاری یا همان توان‌های α و β متغیرهای a_k و b_k اطلاعی در دست نیست و باید این توان‌ها در جریان کالیبراسیون تعیین شوند؛ در حالی که، در مدل فرصت تداخلی عادی، مقدار V_j برای هر ناحیه j کاملاً مشخص است. بنابراین، فرآیند کالیبراسیون مدل در صورت وارد کردن پارامترهای ناحیه‌ای با روش‌های عنوان‌شده در این بخش بسیار پیچیده خواهد شد. پیچیدگی فرآیند کالیبراسیون از آنجا ناشی می‌شود که مقادیر a و b برای هر ناحیه متفاوت است. بنابراین، مجموع حاصل‌ضرب این مقادیر در فرصت‌های بالقوه هر مقصد به شکل دنباله‌ای از پارامترها در خواهد آمد که برای مقاصد مختلف متفاوت است و وارد کردن این دنباله در فرآیند کالیبراسیون به خصوص وقتی که تعداد مقاصد زیاد شود امری طاقت‌فرسا و یا حتی غیرممکن می‌نماید. این پیچیدگی با در نظرگیری سایر عوامل مؤثر بر شناخت مسافران از وضعیت بازار نیز افزوده خواهد شد و پیاده‌سازی این نوع مدل‌سازی را در محیط‌های نرم‌افزاری برای کالیبراسیون با مشکل مواجه خواهد کرد. راهی که برای رفع مشکل کالیبراسیون مدل فرصت تداخلی تکمیلی، به نظر می‌رسد، استفاده از یک روش تکراری (Iterative) یا مرحله‌ای در فرآیند کالیبراسیون مدل است.

برای عملیاتی نمودن این روش، معادله‌ی (۳) بدین صورت بازنویسی می‌شود:

$$P_{ij} = q_j\left(1 - e^{-LU_j}\right) \quad (٦)$$

$$q_j = \frac{e^{-LW_{j-1}}}{1-e^{-LW_J}} \quad (۷)$$

سپس کالیبراسیون مدل به صورت فرآیندی از تکرارهای متوالی انجام می‌گیرد. در این فرآیند، گام صفر یا گام آماده‌سازی فقط یک بار انجام می‌گیرد ولی گام‌های یک، دو و سه به صورت متوالی هر بار تکرار می‌شوند.

گام صفر. در این گام با توجه به بخش آماده‌سازی اطلاعات، برای هر زوج مبدأ - مقصد (i و j) که به ترتیب مبادی و سپس عامل مقاومت سفر مرتب شده‌اند، مقادیر a_j ، b_j و P_{ij} محاسبه می‌شوند. در این گام، $\alpha^{(۰)}=\beta^{(۰)}=۰$. با توجه به این که با درنظرگیری مقدار صفر برای α و β، معادله (۳) به فرم عادی مدل

فرصت تداخلی درمی‌آید، می‌توان مقدار $L^{(0)}$ را همان مقدار برآوردشده بر مبنای مدل فرصت تداخلی عادی در نظر گرفت.

گام یک. با توجه به مقادیر $\beta^{(r)}$ و $\alpha^{(r)}$، مقادیر $U_j^{(r)}$، $W_j^{(r)}$، $W_{j-1}^{(r)}$ و $W_J^{(r)}$ محاسبه می‌شوند. سپس با استفاده از $L^{(r)}$ می‌توان مقدار $q_j^{(r)}$ را محاسبه نمود.

گام دو. با درنظرگیری متغیرهای a_j، b_j و $q_j^{(r)}$ به عنوان متغیرهای مستقل و P_{ij} به عنوان متغیر وابسته، با استفاده از روش رگرسیون غیر خطی می‌توان مقادیر $\beta^{(r+1)}$ و $\alpha^{(r+1)}$ و $L^{(r+1)}$ و متعاقب آن مقدار برآوردی P_{ij} یعنی $P_{ij}^{(r+1)}$ و مقدار R^2 مدل متناظر را تعیین کرد. هم‌چنین با توجه به در اختیار بودن $P_{ij}^{(r+1)}$ و تعداد کل سفرهای تولیدی ناحیه i، می‌توان $t_{ij}^{(r+1)}$ برآوردشده را حساب کرد و میزان نزدیکی سفر برآوردشده و مشاهده‌شده را با توجه به رگرسیون خطی تعیین کرد.

گام سه. اگر

(۸)

$$\text{Max}\left\{\begin{matrix}\left|\dfrac{L^{(r+1)}-L^{(r)}}{L^{(r)}}\right| \text{ و } \left|\dfrac{\alpha^{(r+1)}-\alpha^{(r)}}{\alpha^{(r)}}\right| \\ \text{ و } \left|\dfrac{\beta^{(r+1)}-\beta^{(r)}}{\beta^{(r)}}\right|\end{matrix}\right\}\leq 0.0$$

آن‌گاه فرآیند پایان می‌یابد و $\beta^{(r+1)}$ و $\alpha^{(r+1)}$ و $L^{(r+1)}$ پارامترهای کالیبره شده مدل هستند. در غیر این صورت، به گام یک رفته و الگوریتم ادامه می‌یابد.

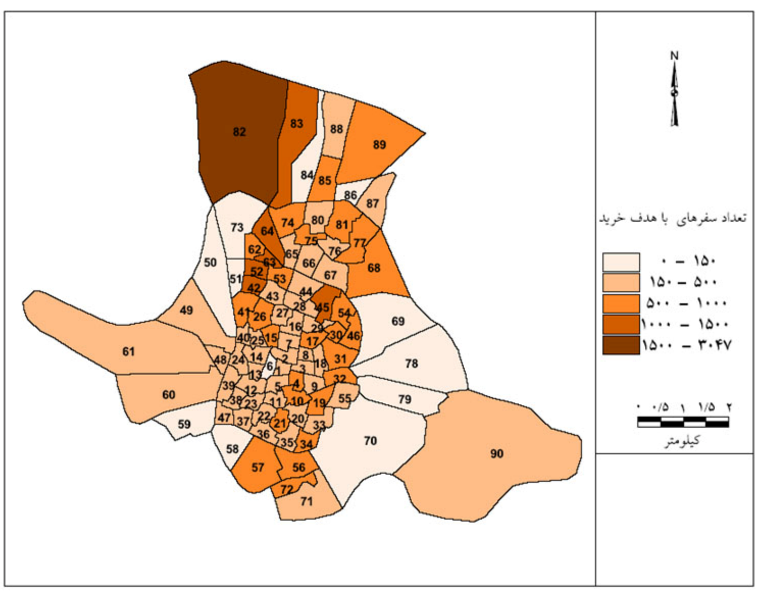
آماده‌سازی اطلاعات و متدولوژی ساخت مدل فرصت‌های تداخلی

آماده‌سازی اطلاعات و نقشه‌های مورد نیاز و تشکیل پایگاه‌های اطلاعاتی پایه با بهره‌گیری از گستره‌ی متنوعی از اطلاعات و داده‌ها و نقشه‌های رقومی و بهره‌گیری از روش‌های فنی و نرم‌افزاری به ویژه در محیط GIS، انجام پذیرفت. شهر مورد مطالعه شهر قزوین می‌باشد که مطالعات برنامه‌ریزی حمل و نقل و آمارگیری‌های مبدأ- مقصد سفر آن در سال ۱۳۸۰ انجام شده و سپس ماتریس سفر آن در سال ۱۳۸۵ به هنگام شده است [۱۴و۱۱]. این شهر که دارای ۳۳۲۱۶۲ نفر جمعیت و ۷۹۱۰۴ خانوار می‌باشد، به ۹۰ ناحیه‌ی ترافیکی تقسیم شده است. نقشه‌ی نواحی ترافیکی و توپولوژی شبکه‌ی معابر شهر قزوین در شکل (۱) نشان داده شده است. از ۵۲۶۸۸۲ سفر روزانه‌ی برآوردشده برای شهر قزوین در سال ۱۳۸۰، سفرهای با هدف خرید برابر ۴۳۹۸۱ سفر معادل ۱۲ درصد کل سفرهای روزانه بوده است. در شکل‌های (۲،۳)، به ترتیب، میزان سفرهای تولید و جذب‌شده با هدف سفر خرید در شهر قزوین به تفکیک نواحی قابل مشاهده است.

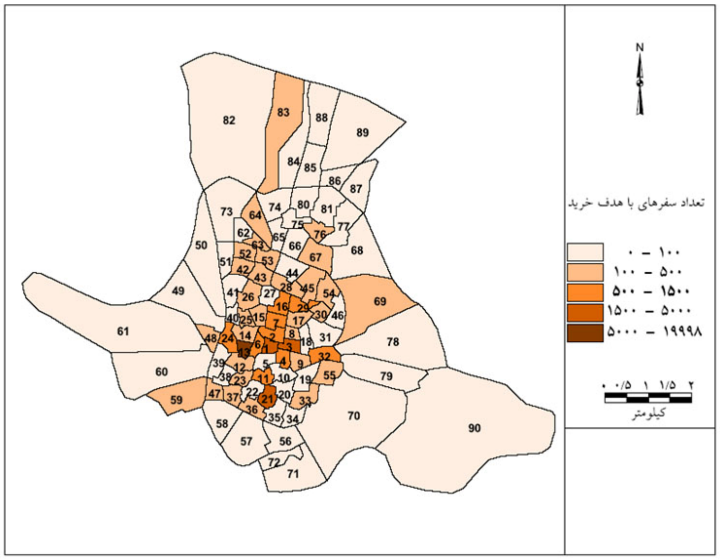
برای گردآوری و پردازش اطلاعات واحدهای تجاری- فروشگاهی، نقشه‌های رقومی کاربری زمین در قالب سیستم تصویر جهانی مرکاتور (UTM) به تفکیک ۴۲ نوع کاربری مختلف در شهر قزوین بر اساس نقشه‌های تهیه شده در محیط GIS اخذ گردید. مشخص شد که ۵ کاربری «تجاری»، «مختلط تجاری- مسکونی»، « مختلط تجاری- درمانی»، «مختلط تجاری-اداری» و «مختلط تجاری-کارگاهی» کاربری‌های مرتبط با سفرهای خرید در شهر قزوین می‌باشند. میزان کل مساحت عرصه‌ی کل کاربری‌های تجاری در شهر قزوین برابر ۱۰۴۷۱۰۹/۶ متر مربع است که نقشه‌ی پراکندگی آن بر نواحی ترافیکی در شکل (۴) نشان داده شده است. بر اساس ضرایب سطح اشغال مورد استفاده، میزان کل اعیانی یا مساحت خالص کل کاربری‌های تجاری شهر قزوین در تمامی نواحی ترافیکی ۹۰ گانه برابر ۵۱۸۴۴۳/۳ متر مربع می‌باشد.



شکل ۱ نقشه‌ی توپولوژی شبکه‌ی معابر و نواحی ترافیکی شهر قزوین

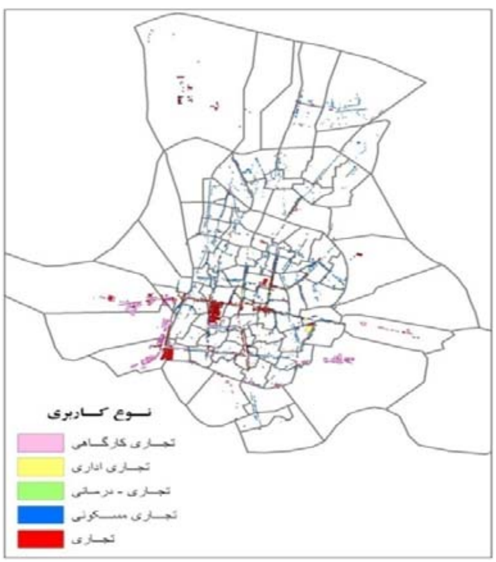


شکل ۲ تعداد سفرهای تولیدشده در نواحی ترافیکی شهر قزوین با هدف سفر خرید



شکل ۳ تعداد سفرهای جذب‌شده به نواحی ترافیکی شهر قزوین با هدف سفر خرید

از آن‌جا که نقشه‌های GIS کاربری زمین دارای مختصات UTM بودند، با تبدیل مختصات نقشه‌ی نواحی ترافیکی شهر قزوین به UTM، هر یک از کاربری‌های تجاری ۵ گانه به تفکیک با نواحی ترافیکی ۹۰ گانه انطباق داده شدند. هم‌چنین پس از تبدیل و تعریف نقشه‌ی۲۰ خط اتوبوس‌رانی و ایستگاه‌های اتوبوس و هم‌چنین اطلاعات عملکردی و فیزیکی خطوط به نقشه های UTM شده در محیط GIS، طول هر یک از خطوط و تعداد ایستگاه‌های اتوبوس درون هر یک از نواحی ترافیکی ۹۰ گانه محاسبه گردید. اطلاعات میزان عرضه‌ی فضای پارک غیرحاشیه‌ای در هر ناحیه بر اساس تجمیع اطلاعات هر یک از پارکینگ‌های عمومی محاسبه شد. اطلاعات میزان عرضه‌ی فضاهای پارک حاشیه‌ای نیز بر اساس طول قسمت‌های قابل پارک شبکه‌ی معابر در هر ناحیه با درنظرگیری امکان پارک در یک یا دو طرف هر قطعه و درنظرگیری متوسط طول فضای پارک برای هر خودرو محاسبه گردید. مطالعات برنامه‌ریزی حمل و نقل شهر قزوین با استفاده از نرم افزار EMME/2 به انجام رسیده بود و دیتابانک مدل موجود می‌باشد.



شکل ٤ نقشه پراکندگی انواع کاربری‌های تجاری منطبق بر نواحی ترافیکی شهر قزوین

از آن‌جا که در مدل فرصت تداخلی، تعریف صحیح از «عامل فرصت» در تصمیم‌گیری‌های سفرکنندگان اهمیت زیادی دارد و با توجه به این‌که در

این پژوهش، میزان مساحت خالص کاربری‌های تجاری به عنوان عامل فرصت یا جذب سفرهای خرید در نظر گرفته شده است، گردآوری اطلاعات اقتصادی واحدهای کسبی و هم‌چنین تهیه‌ی اطلاعاتی در خصوص کیفیت محصولات مورد فروش در شهر به تفکیک نواحی ترافیکی قابل اهمیت می‌باشد. در این پژوهش با بررسی اطلاعات اصناف و طبقه‌بندی‌های مربوط به اتحادیه‌های صنفی در کشور ایران، انواع سفرهای خرید به صورت ۵ گروه مختلف طبق جدول (۱) طبقه‌بندی گردید. تعداد واحدهای کسبی دارای مجوز نیز از اتحادیه‌های صنفی شهر قزوین مطابق جدول شماره‌ی(۱) اخذ گردید.

تحلیل کارایی مدل فرصت‌های تداخلی عادی برای سفرهای خرید در شهر قزوین

به منظور بررسی میزان کارایی مدل فرصت‌های تداخلی عادی، جهت پیش‌بینی ماتریس سفرهای خرید در شهر قزوین، کالیبراسیون مدل و تعیین پارامتر L با روش رگرسیون غیرخطی انجام پذیرفت. برای رتبه‌بندی مقاصد، از دو شاخص فاصله‌ی هوایی مراکز نواحی و زمان سفر متوسط بین نواحی استفاده شد و برای بررسی تطابق نتایج مدل با مقادیر مشاهده‌شده‌ی توزیع سفرهای خرید، مدل مذکور یک بار با مقادیر بردار جذب سفر مشاهده‌شده به عنوان عامل فرصت و بار دیگر با مقادیر مساحت کاربری تجاری خالص در هر ناحیه به عنوان عامل فرصت مورد کالیبراسیون قرار گرفت. اگرچه اکثر محققان در مطالعات خود برای استفاده‌ی عملی از مدل فرصت‌های تداخلی، مقادیر جذب سفر را به عنوان عامل فرصت به کار گرفته‌اند، لیکن استفاده از مقادیر مساحت کاربری تجاری خالص در هر ناحیه به عنوان عامل فرصت، کاربرد مدل فرصت‌های تداخلی را از مدل جذب سفر بی‌نیاز می‌کند و توزیع سفر مستقیماً از اطلاعات کاربری زمین حاصل می‌شود. میزان فرصت‌های ممکن تا ناحیه‌ی مقصد j که عبارت از «مجموع مقادیر جذب سفر تا مقصد *j*ام» و یا «مساحت تجمعی کاربری تجاری تا مقصد *j*ام» می‌باشد با شاخص W_j نشان داده شد. متغیرهای W_{j-1} و W_J نیز با تعریف مشابه محاسبه گردیدند. لذا P_{ij} و P_j به عنوان متغیرهای وابسته و W_j، W_{j-1}و W_J به عنوان متغیرهای مستقل برای کالیبراسیون رگرسیون غیرخطی مدل فرصت تداخلی در نرم‌افزار SPSS وارد شدند.برای برآورد تعداد سفرهای تبادل‌شده، از حاصل‌ضرب مقادیر P_{ij} برآوردشده (Pred_P_{ij}) در مقادیر O_i، مقادیر t_{ij} برآوردشده (Pred_t_{ij}) محاسبه گردید. سپس با اعمال روش رگرسیون خطی بین t_{ij} و Pred_t_{ij} ، میزان همبستگی بین مقادیر برآورد شده و مشاهده‌شده فراهم آمد. نتایج حالات مختلف کالیبراسیون مدل فرصت‌های تداخلی عادی نیز در جداول (۲) و (۳) ارائه شده است.

نتایج مندرج در جدول (۲) که نشان دهنده‌ی برازندگی (R^2) بسیار بالا بین مقادیر P_j، P_{ij}و t_{ij} مشاهده‌شده و برآوردشده می‌باشد، حاکی از انطباق و توصیف مطلوب الگوی توزیع سفرهای خرید با استفاده از مدل فرصت‌های تداخلی عادی می‌باشد. مطابق جدول (۳)، استفاده از مقادیر مساحت کاربری تجاری به عنوان عامل فرصت، نتایج قابل قبولی را در مدل فرصت‌های تداخلی عادی به دنبال نداشته است. در شکل (۵) نمودار احتمال تجمعی سفرهای خرید برای ناحیه‌ی مبدأ ۹۰ بر اساس در نظرگیری مساحت تجاری به عنوان عامل فرصت ترسیم شده‌است.

جدول ١ تعداد انواع واحدهای کسبی به تفکیک انواع گروه‌های خرید

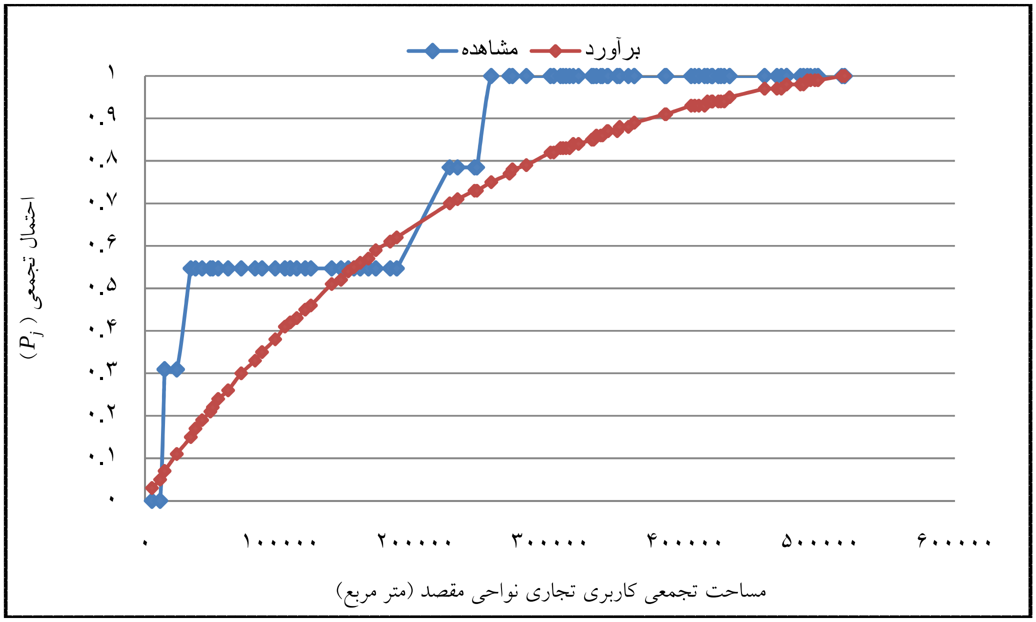
ردیف	گروه سفر با هدف خرید	اتحادیه‌ی صنفی مربوط به گروه خرید	واحدهای کسبی	
			تعداد	درصد
١	خرید مایحتاج روزانه و اقلام خوراکی	نانوایان، خواربار فروشان و عطاری، میوه و سبزی‌فروشان، قصابان، فروشندگان مرغ و ماهی و تخم‌مرغ و قنادان و بستنی‌فروشان	٢٦٥٤	٢٧/٠٦
٢	خرید لوازم منزل، کار و تحصیل	فروشندگان لوازم خانگی و صوتی و تصویری، فرش و موکت و تزئینات داخلی، چینی و بلور و پلاستیک، الکتروتکنیک و رسته‌های وابسته، سیستم‌های مخابراتی و الکترونیک و لوازم الکتریکی	١٣٨٦	١٤/١٣
٣	خرید وسیله‌ی نقلیه و خدمات جانبی آن	نمایشگاه‌داران اتومبیل، تعمیرکاران و فروشندگان باطری اتومبیل، صافکاران و نقاشان اتومبیل، لاستیک‌فروشان و پنچرگیران، تعمیرکاران اتومبیل (سبک و سنگین)، لوازم یدکی اتومبیل، فروشندگان و تعمیرکاران دوچرخه و موتورسیکلت، تراشکاران	١٨٦٧	١٩/٠٣
٤	خرید لوازم و مصالح ساختمانی	فروشندگان مصالح ساختمانی، لوازم بهداشتی ساختمان، درب و پنجره‌سازان، درودگران، شیشه‌بران و فروشندگان شیشه و آئینه، آهن‌فروشان، فروشندگان رنگ و ابزار و یراق، ورقکاران	١٣٠٢	١٣/٢٧
٥	خرید لوازم و احتیاجات شخصی	پوشاک، لوازم بهداشتی و آرایشی، قماش‌فروشان، پیراهن‌دوزان و پیراهن‌فروشان، خیاطان مردانه، طلاسازان و جواهرفروشان، عکاسان و فیلم‌برداران، فروشندگان و تعمیرکاران ساعت و عینک، کفاشان، خرازان، لوازم‌التحریر و کتاب‌فروشان، فروشگاه‌های عرضه‌ی محصولات فرهنگی	٢٦٠٠	٢٦/٥١
مجموع			٩٨٠٩	١٠٠

جدول ٢ نتایج مدل فرصت تداخلی عادی با لحاظ مقادیر جذب سفر به عنوان عامل فرصت

عامل مقاومت سفر (عامل رتبه‌بندی مقاصد سفر)	P_i		P_{ij}		Linear R^2
	L	R^2	L	R^2	t_{ij}
فاصله‌ی هوایی	٣/٢ E −٥	٠/٨٨٦	٢/٧ E −٥	٠/٦١١	٠/٨١٥
زمان سفر	٤/٠ E −٥	٠/٨٧٤	٤/١ E −٥	٠/٦٤٢	٠/٨٤٧

جدول ٣ نتایج مدل فرصت تداخلی عادی با لحاظ مقادیر مساحت تجاری به عنوان عامل فرصت

عامل مقاومت سفر (عامل رتبه‌بندی مقاصد سفر)	P_i		P_{ij}		Linear R^2
	L	R^2	L	R^2	t_{ij}
فاصله‌ی هوایی	٤/٠ E −٦	٠/٧٨٨	٤/٠ E −٦	٠/١٩٧	٠/٢٦٩
زمان سفر	٤/٤ E −٦	٠/٨٠٤	٤/١ E −٦	٠/٢٠٠	٠/٣٣٨



شکل ۵ نمودار احتمال تجمعی سفرهای خرید برای ناحیه‌ی مبدأ ۹۰.

تحلیل کارایی مدل فرصت‌های تداخلی توسعه‌یافته برای محدوده‌ی مورد مطالعه

کالیبراسیون مدل فرصت‌های تداخلی توسعه‌یافته طبق الگوریتم پیشنهادی در این تحقیق انجام پذیرفت. به این صورت که در هرگام بر اساس مقادیر a و b و همچنین α و β برآوردشده، مقادیر W_j، W_J و q_j برای هر ناحیه مقصد محاسبه شد و سپس با به‌هنگام نمودن اطلاعات ورودی مدل فرصت تداخلی توسعه یافته در نرم‌افزار SPSS، مقادیر P_{ij} و t_{ij} توسط نرم‌افزار برآورد گردیدند. فرایند تکراری تدوین‌شده برای ۷ تکرار اجرا گردید. خلاصه‌ی محاسبات مربوط به گام‌های این الگوریتم در جدول (٤) ارائه شده است.

با توجه به جدول (٤)، چند نکته قابل برداشت است. ابتدا این‌که همان‌گونه که در تکرار ۱ مشاهده می‌شود، مقدار β کوچکتر از ۰ شده است که طبق مفهوم به کاررفته برای متغیر b_j^i نادرست می‌باشد. منفی بودن مقدار توان متغیر b_j^i ، یعنی β، بیانگر این مفهوم است که با افزایش زمان سفر بین ناحیه‌ی مبدأ و مقصد، میزان شناخت ساکنان مبدأ از فرصت‌های موجود در مقصد افزایش می‌یابد که مفهومی نادرست است. بنا بر این نتیجه، متغیر b_j^i از جریان مدل‌سازی حذف شده است و در تکرارهای بعدی، تنها اثر متغیر تراکم کاربری تجاری یعنی a_j ، در میزان شناخته‌شدگی مقاصد بررسی شده است.

در جدول (٤) نتایج حاصل از این رویکرد تا ۷ گام کالیبراسیون آورده شده است. آن چه که مشهود است این می‌باشد که درصد تغییرات α ، تغییرات مقدار R^2 حاصل از روندگرای غیرخطی P_{ij} و مقدار R^2 حاصل از روندگرای خطی t_{ij} کمتر از ۵٪ می‌باشند. درصد تغییرات مقدار L در گام‌های متوالی نیز همگرا شده است. و به درصد همگرایی کمتر از ۵٪ یعنی به جوابی در حد اطمینان ۹۵٪ رسیده است.

جدول ٤ نتایج گام‌های کالیبراسیون مدل فرصت تداخلی توسعه‌یافته برای سفرهای خرید شهر قزوین.

شماره تکرار		L	α	β	R^2 Nonlinear(P_{ij})	R^2 Linear(t_{ij})
گام صفر	مقدار	٦ E-٤/١	٠/٠	٠/٠	٠/٢٠٠	-
تکرار ١	مقدار	٥ E-١/٣	١/٧٠٩	-٠/٧٤٨	٠/٥٨٤	
	درصد تغییر	-	-	-	-	-
تکرار ١ پس از حذف b	مقدار	٣/٠ E-٥	١/٥٢٠	٠.٠	٠/٥٥٤	٠/٧٧٢
	درصد تغییر	-	-	-	-	-
	درصد تغییر	–	-	-	-٠/٧ ٪	-٠/٦ ٪
تکرار ٧	مقدار	٥/٤ E-٦	١/١٩١	٠.٠	٠/٥٦٥	٠/٧٨٤
	درصد تغییر	–	–	-	-٠/٧ ٪	-٠/٤ ٪

نتیجه‌گیری

اکثر محققان برای استفاده‌ی عملی از مدل فرصت‌های تداخلی، مقادیر جذب سفر را به عنوان عامل فرصت به کار گرفته‌اند و مدل را بر این اساس کالیبره نموده‌اند. بر اساس تحلیل‌های انجام‌شده در این پژوهش نیز، به کار بردن مدل فرصت‌های تداخلی عادی با استفاده از مقادیر جذب سفر به عنوان عامل فرصت و مقادیر زمان سفر واقعی به عنوان عامل رتبه‌بندی، منتج به نتایج بسیار قابل قبولی شده است و حاکی از انطباق و توصیف بسیار مطلوب الگوی توزیع سفرهای خرید با استفاده از مدل فرصت‌های تداخلی عادی می‌باشد. استفاده از پارامترهای کاربری زمین، مانند مقادیر مساحت کاربری تجاری خالص در هر ناحیه به عنوان عامل فرصت در آن ناحیه، کاربرد مدل فرصت‌های تداخلی را از مدل جذب سفر بی‌نیاز می‌کند و توزیع سفر مستقیماً بر اساس اطلاعات کاربری زمین صورت می‌پذیرد.

در این پژوهش برای رفع نقایص مدل فرصت‌های تداخلی عادی و لحاظ ذهنیت سفرکنندگان در خصوص شاخص‌های کیفی برای انتخاب مقصد و نیز استفاده از پارامترهای کاربری زمین به عنوان عامل فرصت برای برآورد ماتریس سفرهای خانه‌مبنا با هدف سفر خرید، متدولوژی جدیدی با نام «مدل فرصت‌های تداخلی توسعه‌یافته» مورد تعریف ریاضی و کالیبراسیون قرار گرفت. کالیبراسیون این نوع مدل بسیار دشوار می‌باشد لیکن ساختار مرحله‌ای ابتکاری در این پژوهش برای فرآیند کالیبراسیون این مدل در سطح دقت ٥٪ همگرا شده است.

از مقایسه‌ی نتایج مدل فرصت‌های تداخلی عادی با مدل فرصت‌های تداخلی توسعه‌یافته بر اساس شاخص مساحت تجاری به عنوان عامل فرصت در هر ناحیه، می‌توان بهبود در برازش مدل را مشاهده کرد. چرا که نیکویی برازش بر اساس شاخص R^2 خطی پارامتر P_{ij} و شاخص R^2 غیر خطی پارامتر t_{ij} به ترتیب از ٠/٢ و ٠/٣٣٨ برای مدل عادی به ٠/٥٦٥ و ٠/٧٨٤ برای مدل توسعه‌یافته افزایش یافته است که R^2 خطی ٠/٧٨٤ نتیجه‌ای قابل قبول محسوب می‌شود

مراجع

1. Adib Kanafani, Transportation Demand Analysis, McGraw-Hill, (1983).

2. Activity-Based Modelling System for Travel Demand Forecasting, Travel Model Improvement Program, RDC Inc., U.S. Department of Transportation, (1995).
3. Akira Uchino and Tetsuma Furihata, "Some contribution toward Spatial Urban Dynamics - from Relative Attractiveness point of view", School of Commerce, Senshu University, Japan, (2004).
4. Bin Chen, "Modeling Destination Choice in Hurricane Evacuation With an Intervening Opportunity Model", Master of Science Dissertation, The Department of Civil and Environmental Engineering, Louisiana State University, May (2005).
5. D. Boyce, "Is the Sequential Travel Forecasting Paradigm Counterproductive?", *Journal of Urban Planning and Development*, Vol.128, No. 4, ASCE, (2002).
6. J.D. Ortuzar and L.G. Willumsen, Modelling transport, 3rd ed., Wiley, New York, (2001).
7. Refinement of FSUTMS Trip Distribution Methodology, Florida International University, Technical Memorandum No. 3, Calibration of an Intervening Opportunity Model For Palm Beach County, Prepared for Florida Department of Transportation, September (2001).
8. Refinement of FSUTMS Trip Distribution Methodology, Florida International University, Final Report, Prepared for Florida Department of Transportation, September(2004).
9. S. Olof Gunnarsson, "Studies in Travel Behaviour and Mobility Management Need a Special Scientific Dicipline: Mobilistics", IATSS Research, Vol. 24, No.1,(2000).
10. V. Tabak, B. de Vries and J. Dijkstra, "User Behaviour Modelling, Developments in Design & Decision Support Systems in Architecture and Urban Planning", Eindhoven University of Technology, ISBN 90-6814-155-4, (2004).

۱۱. «مطالعه‌ی امکان‌سنجی تعریف، توسعه و بازگشایی معابر جدید در شهر قزوین در افق کوتاه‌مدت»، مهندسین مشاور رهیافت اندیشه فردا، (۱۳۸٦).

۱۲. مطالعات سامان‌دهی حمل و نقل و ترافیک شهر قزوین، «گزارش شماره‌ی ۳-٦۳۳ : تعیین محدوده‌ی مورد مطالعه و ناحیه‌بندی آن»، شرکت مطالعات جامع حمل و نقل و ترافیک شهر تهران، خرداد (۱۳۸۱).

۱۳. مطالعات سامان‌دهی حمل و نقل و ترافیک شهر قزوین، «گزارش شماره‌ی ٦-٦۳۳ : شبکه‌ی معابر شهر قزوین»، شرکت مطالعات جامع حمل و نقل و ترافیک شهر تهران، آذر (۱۳۸۰).

۱٤. مطالعات سامان‌دهی حمل و نقل و ترافیک شهر قزوین، «گزارش شماره‌ی ۱٤-٦۳۳ : نتایج آمارگیری مبدأ – مقصد ساکنان شهر قزوین»، شرکت مطالعات جامع حمل و نقل و ترافیک شهر تهران، آذر

(۱۳۸۱).